

TAPADÓ HÓ KIALAKULÁSAKOR JELLEMZŐ VERTIKÁLIS RÉTEGZŐDÉS VIZSGÁLATA 36 ÉVNYI RÁDIÓSZONDÁS FELSZÁLLÁS MÉRÉSEI ALAPJÁN

Somfalvi-Tóth Katalin⁽¹⁾ , Simon André⁽²⁾, Mészáros Róbert⁽³⁾ 

⁽¹⁾Kaposvári Egyetem, Természeti Erőforrások Tanszék, 7400 Kaposvár, Guba S. u. 40.

⁽²⁾Országos Meteorológiai Szolgálat, 1024, Budapest, Kitaibel Pál utca 1.

⁽³⁾ELTE Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A
e-mail: somfalvi-toth.katalin@ke.hu, simon.a@met.hu, mrobi@nimbus.elte.hu

Bevezetés

Már az 1800-as évek végén (Ju et al., 1899) szembesültek azzal, hogy az elektromos áramellátásban alapvető szerepet játszó távvezeték-hálózatokat nagymértékben veszélyeztetik bizonyos időjárási körülmények, események. Ilyen például a villámcsapás, a viharos szél, illetve a téli jégfelhalmozódás. A jég és hó súlytöbblete, főleg ha széles idővel társul, könnyen nagy területen okozhat vezetékszakadást. A lerakódás lehet zúzmara, ónos esőből származó jégbevonat, vagy tapadó hó. A zúzmara a hazai éghajlati körülmények miatt ritkán éri el a kritikus súlytöbbletet, amely a vezeték elszakadásához vezethet. Ezzel szemben az ónos eső és tapadó hó gyakrabban okoz károkat. Az ónos eső kialakulási körülményeivel számos publikáció foglalkozik, amelynek Magyarországra vonatkozó vizsgálatait Fövényi (2001) végezte el. A vezetékre rakódó ónos, jeges bevonat egyszerűbben előrejelezhető, ezzel szemben a tapadó hó kialakulásának folyamata még nem ismert minden részletében, illetve előrejelzése is bonyolultabb az alkalmazott parametrizációk miatt (ISO124194, 2001). Az előrejelzések pontosítása miatt fontos megvizsgálni rádiószondás felszállások segítségével, hogy tapadó hó észlelésekor milyen a légkör vertikális állapota, a hőmérsékleti, nedvességi és szélviszonyok alakulása.

A tapadó hó kialakulásához kedvező időjárási helyzetek gyakoriak hazánkban, egy téli félévben akár 35 tapadó havas napot is megfigyelhetnek (Gulyás, 2012). A legtöbb esetben néhány órán át tartó, kis csapadékinzertitású havazás tapasztalható enyhén pozitív talajközeli hőmérséklet mellett (Dalle & Admirat, 2011). Ekkor káresemény nem történik. Ezzel szemben a hevesebb, akár 5–10 órán át tartó, nagy csapadékinzertitással és erős széllel járó havazás jelenti a legnagyobb kockázatot a felsővezeték-hálózat számára (Wakahama et al., 1977, Dalle & Admirat, 2011). Magyarországon a mediterrán ciklonok átvonulásához kapcsolhatók leggyakrabban ezek az események (Gulyás, 2012).

A nedves hópolyhek megjelenése összetett mikrofizikai folyamatok eredménye, amelyben jelentős szerepet játszik a légkör vertikális szerkezete, a meteorológiai, azon belül is a termodinamikai állapotváltozók (léghőmérséklet, légnyomás, légnedvesség) alakulása. A nemzetközi szakirodalomban a tapadó hóval kapcsolatos vizsgálatok két részre bonthatók. Egyrészt megtalálhatók a meteorológiai állomásokon mért adatokon (hőmérséklet, szélirány és szélesség, látástávolság) alapuló (Makkonen, 1989; Makkonen & Wichura, 2010; Nygaard et al., 2013), másrészt a korlátos tartományú, nem-hidrosztatikus időjárás előrejelző modellek outputjaiból számított statisztikai vizsgálatok és előrejelzések (Grünwald et al., 2012; Somfalvi-Tóth et al., 2015; Lacavalla et al., 2015). Ez utóbbiak már rendkívül részletes mikrofizikai sémát használnak a téli csapadékfajták tulajdonságainak, mint például a felhőben megjelenő részecskék típusának (graupel, felhővíz, hó, eső, túlhűlt víz, stb.), a folyékony felhővíztartalomnak, a szilárd és folyékony halmazállapotú csapadékelemek arányának, vagy a hópolyhek tömegkoncentrációjának parametrizálására (Hong et al., 2004; Thompson et al., 2004; Thompson et al., 2008; Morrison et al., 2015). Ezeket a paramétereket nem méri

közvetlenül a meteorológiai állomások, ezért inicializálásuk a modellekben nem méréseken alapul, így az eredmények verifikálása is akadályokba ütközik.

Felhasznált adatok és módszertan

A különböző klimatológiai vizsgálatok és numerikus modellekkel történő előrejelzések elvégzéséhez szinte kivétel nélkül a talajközeli légréteg (2 méteres hőmérséklet, relatív nedvesség, látástávolság, 10 méteres szélirány és szélsébség) állapota alapján határozzák meg a tapadó hó megjelenését (Wakahama, 1979; Matsuo et al., 1981; Admirat et al., 1988; Finstad et al., 1988; Makkonen 1989; Sakamoto & Miura, 1993; Rasmussen et al., 1999; ISO12494, 2001; Makkonen & Wichura, 2010; Nygaard et al., 2013). A felsőbb légrétegek állapotára viszont csak egy-egy rövidebb bejegyzést találunk (Dalle & Admirat, 2011). Ezt a hiányosságot pótolandó, átfogó vizsgálatot végeztünk 36 évnyi rádiószondás felszállás adataiból.

Magyarországon két állomáson, Budapest Pestszentlőrincen és Szegeden végeznek magas-légköri rádiószondás méréseket. Az 1980-as években orosz mérőszondákat használtak, de az 1990-es évek elejétől áttértek a Vaisala típusú rádiószondák alkalmazására. Jelenleg a Vaisala RS92 – SGP típusú rádiószondával történnek a mérések Budapesten. 2015. január 1-én kezdődött a GRAW DFM-09 típusú szondák tesztelése az Országos Meteorológiai Szolgálatnál, melyeket 2016-tól már az operatív szolgálatba is bevontak. Budapesten és Szegeden a 0 UTC-s mérést a Vaisala szondával, míg a 12 UTC-s mérést a GRAW szondával hajtották végre. 2017 elejétől Budapesten mindkét mérés Vaisala szondával, míg Szegeden mindkét mérés GRAW szondával történik. Szegeden az 1990-es évek elejétől 2014. december 31-ig naponta egyszer végeztek mérést, majd 2015. január 1-től visszatértek a napi 2 mérésre (0 és 12 UTC). Budapest Pestszentlőrincen 1980–1990 között napi 3 felszállás történt (0, 12 és 18 UTC), majd 1991-től napjainkig napi 2 mérést (0 és 12 UTC) végeznek.

Vizsgálatunkhoz az 1980–2016 közötti 36 éves időszakból származó rádiószondás méréseket használtuk fel, ezen belül is az 1000, 925, 900, 850, 800 és 700 hPa főizobárszintek adataival végeztük el vizsgálatainkat. Ennél magasabban elhelyezkedő nyomási szintek már nem relevánsak a tapadó hó kialakulásának szempontjából. Az adatbázisból egy megadott feltételrendszer szerint szűrtük ki a tapadó hó előfordulásának időpontjait. Ezek a feltételek a következők:

1. A rádiószonda felbocsátásának időpontja előtti és utáni 2–2 órában, azaz 4 órás időszak alatt minimum egy észlelés során havazást regisztrálnak, miközben a léghőmérséklet a talaj közelében $[-0,5, +2]$ °C közötti intervallumba esik. Ennek a két feltételnek egyszerre kell teljesülnie.
2. Másodlagos szűrést is végezni kellett, hiszen a légkörben zajló gyors változások miatt nem biztos, hogy a felszállás idejében is fennálltak a tapadó hó kialakulásának kedvező feltételek. Ha a felszállás idején az adatok alapján
 - a. túl hideg a légkör (minden vizsgált nyomási szinten negatív a hőmérséklet), vagy
 - b. túl meleg a légkör (minimum egy nyomási szinten 2 °C feletti a hőmérséklet),akkor feltételezhetően hideg-, vagy melegadvekcio miatt ezek a felszállások már nem reprezentálják a havazás idején jellemző vertikális hőmérsékleti, nedvességi és szélkarakteristikákat, ezért ezeket az eseteket figyelmen kívül hagytuk.

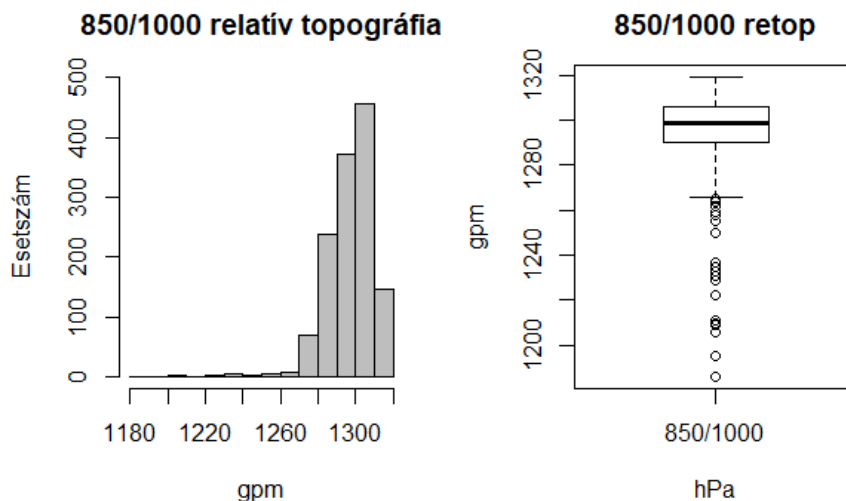
Az 1980–2016 közötti időszak rádiószondás felszállásai közül összesen 1315 felelt meg a megadott feltételeknek. Budapest Pestszentlőrincen és Szegedre vonatkozó adatokat nem választottuk szét, illetve, ha ugyanazon napon mindkét állomásról végzett mérések megfeleltek a követelményeknek, akkor az esetszám növelése érdekében mindkét adatsort felhasználtuk a statisztikai elemzés során, hiszen az eredményekre nézve ez semmilyen torzítást nem jelent.

Az adatok elemzéséhez és megjelenítéséhez az R statisztikai programot (2008) használtuk. Az ún. violin ábrák egy sűrűségfüggvény és egy boxplot kombinációjaként állnak elő (Hintze & Nelson, 1998).

Eredmények: vertikális rétegződés tapadó havas események során

A tapadó hó előfordulásakor jellemző vertikális rétegződés elemzésekor fontos tényező a 850/1000 relatív topográfia magassága. Hirsch (2008) szerint az 1300 gpm megközelítőleg jó határvonalat jelent a folyékony és szilárd halmazállapot elkülönítésére. Dalle & Admirat (2011) felhívja a figyelmet, hogy a nedves hópelyhek megjelenésében kulcsfontosságú a 0 °C-os izoterma magassága, illetve alatta egy 300–400 m vastag pozitív réteg megjelenése, ahol a hópelyhek részlegesen megolvadnak. A szakirodalomban a tapadó havas esetekben fennálló vertikális rétegződés jellemzésére nem találtunk további leírást vagy vizsgálatokat. A kapott eredmények azonban elengedhetetlenek az előrejelzések pontosítása érdekében.

Hirsch (2008) szerint havazás során az átlagos relatív topográfia érték 1280 gpm, a maximum 1325 gpm, míg a minimum kb. 1250 gpm. Tapadó havas helyzetekre is megvizsgáltuk a 850/1000 relatív topográfia alakulását, amelynek eredményeit az 1. ábrán tüntettük fel. Az ábra bal oldalán hisztogram, míg a jobb oldalán boxplot látható. Az eredmények szerint az átlagos relatív topográfia 1300 gpm, maximum 1320 gpm, míg a kiugró extrémumok figyelmen kívül hagyásával a minimum kb. 1265 gpm. Mivel a relatív topográfia a két nyomási szint közötti átlagos hőmérsékletet jellemzi, a magasabb értékek melegebb légréteg jelenlétére utalnak. Ugyanakkor a szűkebb értéktartomány azt a feltételezést is megerősíti, hogy a jelenleg érzékeny a hőmérsékleti viszonyok alakulására.



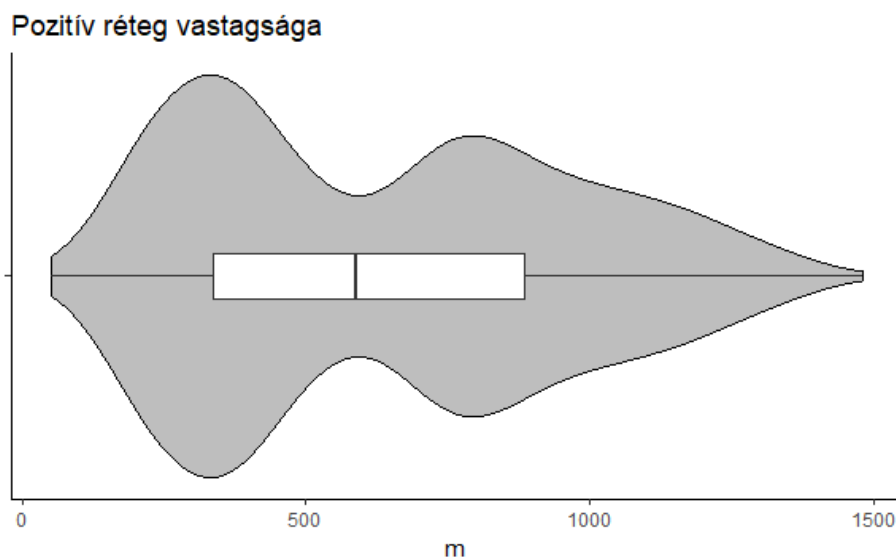
1. ábra: Tapadó hó megjelenéséhez kapcsolódó 850/1000 relatív topográfia 36 évnyi budapesti és szegedi rádiószondás felszállások mérései alapján.

Tapadó hó kialakulásakor az egyik kulcsfontosságú tényező a hőmérséklet vertikális rétegződése. Az 1. táblázatban látható a pozitív és negatív rétegek elhelyezkedése egymáshoz képest, valamint az előfordulások száma. Az eredményekből kitűnik, hogy a pozitív réteg elhelyezkedése 95,09% relatív gyakorisággal közvetlenül a talaj felett helyezkedik el, míg a magasabb légréteg hőmérséklete negatív. A pozitív hőmérsékletű réteg két negatív hőmérsékletű réteg közé ékelődése (4., 5., 6., 9. eset) az esetek elenyésző hányadában jellemző csak (4,91%)

1. táblázat: A pozitív hőmérsékletű réteg elhelyezkedése (9 típus), és a hozzájuk tartozó esetszám a budapesti és szegedi rádiószondás felszállások mérései alapján.

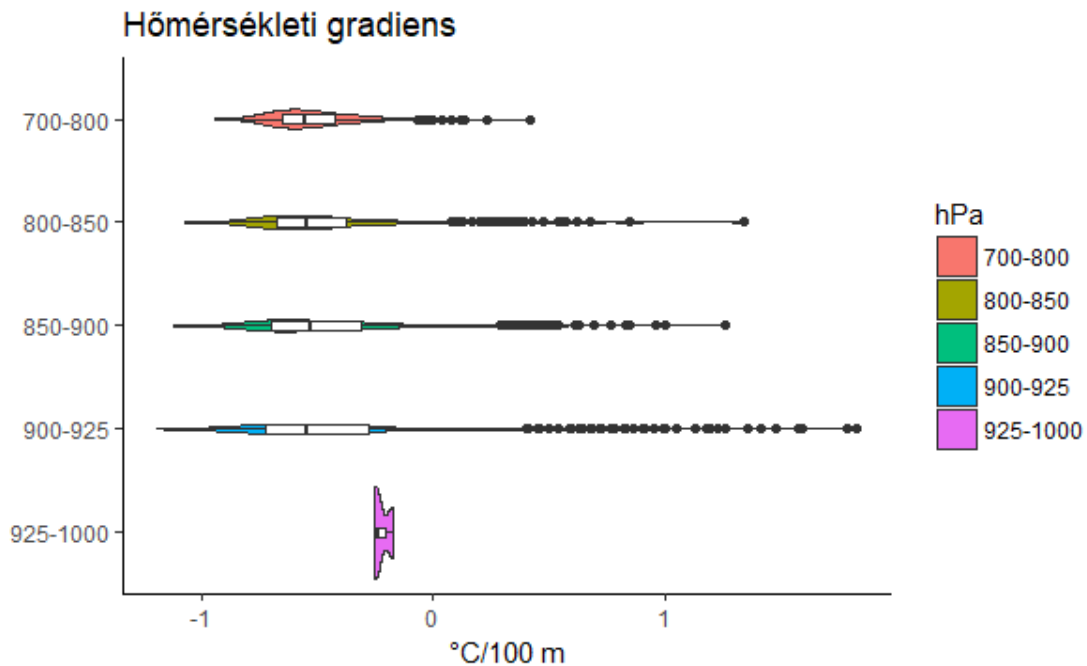
Típus	1000 hPa	925 hPa	900 hPa	850 hPa	Esetszám
1.	+	-	-	-	556
2.	+	+	-	-	44
3.	+	+	+	-	45
4.	-	+	-	-	17
5.	-	+	+	-	15
6.	-	-	+	-	11
7.		+	-	-	244
8.		+	+	-	233
9.		-	+	-	16

A tapadás hatékonyságát a hópelyhek folyékony víztartalma határozza meg. Sakakibara et al. (2007) mérései szerint a hópelyhely 12–15%-os folyékony víztartalom mellett tapad leg-erősebben a tereptárgyakhoz. Admirat & Dalle (2011) szerint ehhez 300–400 méter vastag pozitív réteg szükséges. Budapesti és szegedi vizsgálataink szerint valóban leggyakoribb a 400 méteres rétegvastagság, míg egy másodlagos maximum alakul ki 800 méteres vastagságnál (2. ábra). Ilyen, vagy ennél vastagabb pozitív réteg jelenlétében a hópelyhek víztartalma valószínűleg már meghaladja az optimális víztartalmat, ezért tereptárgyakhoz ütközve lefolynak azok felületéről. Esetünkben ónos eső kialakulása kizárt, mivel szinoptikus észleléseket használtunk fel az esetek szűrésére, aminek egyik alapfeltétele a havazás megléte volt.

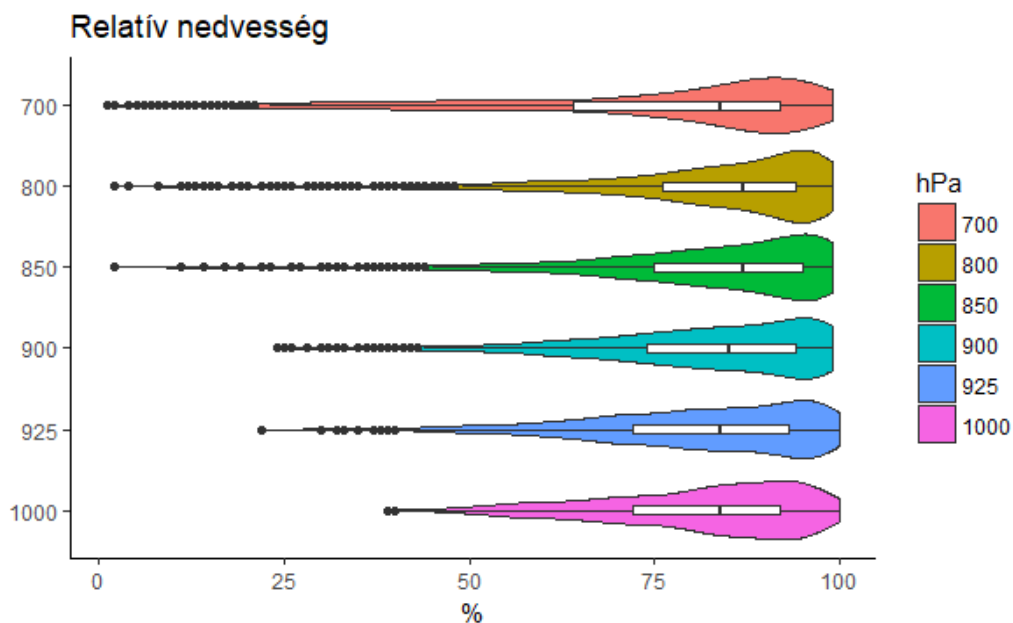


2. ábra: Violin ábra a pozitív réteg vastagságának elemzéséhez a budapesti és szegedi rádiószondás felszállások alapján.

A hőmérsékleti gradiens értékéről a szakirodalomban egyáltalán nem találunk olyan vizsgálatokat, amelyek számszerűsítik annak alakulását tapadó havas események során. A 3. ábrán látható, hogy a hőmérsékleti gradiens az alsó, 925–1000 hPa közötti rétegben nagyon szűk tartományban mozog, $-0,3$ és $-0,4$ °C/100 m közötti értékeket vesz fel. A felette húzódó rétegek hőmérsékleti gradienseinek átlaga a feltüntetett boxplot diagramok alapján néhány kiugró értéktől eltekintve $-0,6$ °C/100 m körül alakul.

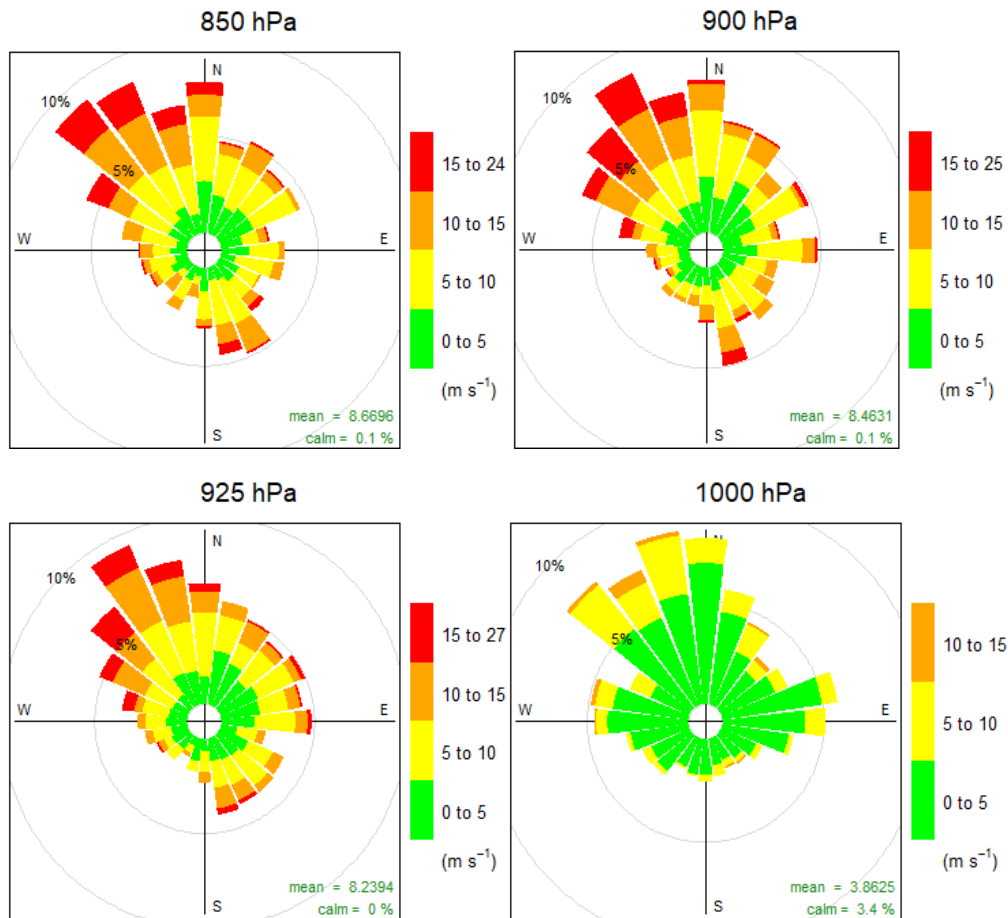


3. ábra: Hőmérsékleti gradiens különböző nyomási szintek között tapadó hó megjelenésekor budapesti és szegedi rádiószondás mérések alapján.



4. ábra: Relatív nedvesség vertikális eloszlása tapadó hó megjelenésekor 36 évi budapesti és szegedi rádiószondás felszállások alapján.

A tapadó hó kialakulása szempontjából rendkívül fontos tényező a légkör nedvességtartalma. Sugimoto et al. (2016) 1970–2010 közötti in situ megfigyelések alapján arra a következtetésre jutott, hogy a tapadó hóban megjelenő folyékony víz mennyisége optimális a tapadáshoz, ha a léghőmérséklet $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$ között, míg a relatív nedvesség 93% és 100% között alakul a talaj közelében. Az 1000 hPa-os mérések alapján a leggyakrabban 90% és 95% között alakul a relatív nedvesség (sűrűségfüggvény alapján), míg a medián 85% körüli érték. A 925, 900, 850 és 800 hPa magasságban a relatív nedvesség értéke jobban megközelíti a 100%-ot a sűrűségfüggvények alapján (95%, vagy felette) (4. ábra). A megfigyeléseinket tehát alátámasztják az eredmények, miszerint kedvezőbbek a tapadó hó kialakulásának feltételei, ha a talaj közelében szárazabb a levegő, aminek termodinamikai magyarázata van.



5. ábra: Szélirány és szélesség vizsgálata különböző nyomási szinteken 36 évi budapesti és szegedi rádiószondás mérések adatai alapján.

A talajközeli szélviszonyok is rendkívül fontos szerepet játszanak a felsővezetésekre veszélyes hófelhalmozódás kialakulása szempontjából. Az 5. ábrán láthatjuk az 1000, 925, 900, 850 hPa nyomási szintekre jellemző szélrózsákat tapadó havas esetekben. Minden vizsgált nyomási szinten az északnyugati szélirány a leggyakoribb, míg a délnyugati szélirány a legkevésbé jellemző ezekben a helyzetekben. A legfontosabbak mégis a talajközeli légállapot, azaz az 1000 hPa-os szint szélviszonyai. A szél sebessége befolyásolja a hópelyhek fluxusát, ezáltal a hógyűrű növekedésének ütemét, valamint a vezetéken felhalmozódó hógyűrű sűrűségét. Sakakibara et al. (2007) szerint 5 m/s feletti szélesség mellett már kellően nagy a szél nyomóereje ahhoz, hogy a vezeték tengely körüli forgása meginduljon. Szélcsatorna kísérletek bizonyították, hogy 20 m/s-ig megindulhat a felhalmozódás, ha stacionárius az áramlás (Wakahama et al., 1977; ISO12424, 2001). A szélesség növekedésének azonban

összetettebb a hatása, ugyanis minél nagyobb a szélsébség, annál kisebb a tapadás hatékonysága, amelyet a tapadási együttható (β) fejez ki a számítások során. A tapadási együttható értéke fordítottan arányos a szélsébség négyzetgyökével, illetve ha a szélsébség 1 m/s alatti, akkor a tapadási együttható értéke 1 (Nygaard et al., 2013). Mivel ezeket a paramétereket (hópelyhek vezetékre merőleges fluxusa, hógyűrű sűrűsége, tapadási együttható értéke) nagyon nehéz mérni, ezért csak közelíteni, becsülni tudjuk értéküket. Szélsébség szempontjából pedig az 1000 hPa-os szint a releváns. Ezekben az időjárási helyzetekben nem jellemző hazánkban az erős szél, a leggyakrabban az 5 m/s-ot sem haladja meg a szélsébség (esetek 75%-a). Ugyanakkor a veszélyes mértékű hófelhalmozódásnak kedvezőbb, ha ennél erősebb a légmozgás (Sakakibara et al., 2007), ami magyarországi viszonyok között az esetek elenyésző hányadában (kb. 25%, amelyből a 10 m/s-os meghaladó szélsébség aránya kb. 5%) áll fenn.

Összefoglalás

A tapadó hó kialakulását alapvetően befolyásolja a légkör vertikális állapota. A szakirodalomban csak néhány utalást találtunk a hőmérsékleti, nedvességi és szélviszonyokra, ezért 36 év rádiószondás méréseit használtuk fel annak bizonyítására, hogy valóban általános érvényűek ezek a feltételezések, illetve olyan tényezőket is vizsgáltunk, amikről eddig nem állt rendelkezésre információ (relatív topográfia, pozitív réteg elhelyezkedése, hőmérsékleti gradiens, jellemző talajközeli szélviszonyok). Az eredmények tükrében az alábbi következtetések vonhatók le:

1. A relatív topográfia értékek Hirsch (2008) havazással kapcsolatos eredményeinek egy szűkebb tartományát fedik le (1250–1325 gpm helyett 1265–1320 gpm, ahol a medián 1280 gpm helyett 1300 gpm).
2. A pozitív réteg elhelyezkedése az esetek 95,09%-ában közvetlenül a talaj felett helyezkedik el, amely leggyakrabban 400 méter vastagságú.
3. Vizsgálataink szerint az 1000–925 hPa nyomási szint hőmérsékleti gradiense $-0,3$ °C/100 m és $-0,4$ °C/100 m értékek között mozog.
4. Az 1000 hPa-os szint relatív nedvesség értékei alacsonyabbak, azaz a talajközeli légréteg szárazabb, mint a felette húzódó rétegek (relatív nedvesség mediánja 85%, míg a sűrűségfüggvény alapján a leggyakoribb értékek 90% és 95% között vannak).
5. Tapadó hó kialakulásakor a vizsgált állomásokon a leggyakoribb szélirány minden szinten az északnyugati, míg legkisebb az előfordulási gyakorisága a délnyugati iránynak. A tapadó hó felhalmozódás szempontjából a legrelevánsabb az 1000 hPa-os nyomási szint szélsébsége. Az esetek döntő többségében (kb. 75%) 5 m/s alatt marad a légmozgás. 20%-ban 5–10 m/s közötti, míg az esetek elenyésző (kevesebb, mint 5%) hányadában haladja meg a 10 m/s-ot a szélsébség.


Hivatkozások

- Admirat, P., Sakamoto, Y., DeGoncourt, B., 1988: Calibration of a snow accumulation model based on actual cases in Japan and France. *Proc. 1988 IWAIS*, 129–133.
- Dalle, B., Admirat, P., 2011: Wet snow accretion on overhead lines with French report of experience. *Cold Reg. Sci. Technol.*, 65(1): 43–51.
<https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2010.04.015>
- Finstad, K. Fikke, J., Ervik, M., 1988: A comprehensive deterministic model for transmission line icing applied to laboratory and field observations. *Proc. 1988 IWAIS*, 229–231.

- Fövényi, A., 2001: Probability forecast of state of winter precipitation using NWP model data. *Proc. of the Fifth European Conference on Applications of Meteorology*, ECAM 2001. szeptember 24–28., Budapest, Magyarország.
- Grünwald, T., Dierer, S., Cattin, R., Steiner, P., Steinkogler, W., Fundel, F., Lehning, M., 2012: Mapping frequencies of icing on structures in Switzerland. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 107–108: 76–82. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2012.03.022>
- Gulyás, K., Somfalvi-Tóth, K., Kolláth, K., 2012: A tapadó hó statisztikus-klimatológiai viszonyai hazánkban. *Léggör*, 57: 49–54.
- Hintze, J.L., Nelson, R.D., 1998: Violin Plots: A Box Plot-Density Trace Synergism. *The American Statistician*, 52(2): 181–4. <https://doi.org/10.1080/00031305.1998.10480559>
- Hirsch, T., 2008: Téli magyarországi nagy csapadékos helyzetek vizsgálata és előrejelzése. *PhD értekezés*, ELTE Földtudományi Doktori Iskola, 2008.
- Hong, S., Dudhia, J., Chen, S., 2004: A Revised Approach to Ice Microphysical Processes for the Bulk Parameterization of Clouds and Precipitation. *Mon. Weather Rev.*, 132: 103–120. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2004\)132<0103:ARATIM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2004)132<0103:ARATIM>2.0.CO;2)
- ISO, 2001: Atmospheric icing of structures. International Standardization Organisation (ISO) International Standard 12494, Geneva, Switzerland.
- Ju, Y., Li H., Xue, Q., 1899: Failure Analysis of Transmission Tower under the Effect of Ice-Covered Power Transmission Line. *Information Science and Engineering, International Conference on (ICISE)*, Nanjing, Jiangsu China, 4301–4304. <https://doi.org/10.1109/ICISE.2009.586>
- Lacavalla, M., Marcacci, P., Freddo, A., 2015: Wet-snow activity research in Italy. *Proc. 16th Int. Workshop on Atmospheric Icing of Structures (IWAIS)*, Uppsala, Finland, 17–24.
- Makkonen, L., 1989: Estimation of wet-snow accretion on structures. *Cold Reg. Sci. Technol.*, 17: 83–88. [https://doi.org/10.1016/S0165-232X\(89\)80018-7](https://doi.org/10.1016/S0165-232X(89)80018-7)
- Makkonen, L., Wichura, B., 2010: Simulating wet-snow loads on power line cables by a simple model. *Cold Reg. Sci. Technol.*, 61: 73–81. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2010.01.008>
- Matsuo, T., Sashio, Y., Sato, Y., 1981: Relationship between Types of Precipitation on the Ground and Surface Meteorological Elements. *J. Met. Soc. of Japan*, 59(4): 462–476. https://doi.org/10.2151/jmsj1965.59.4_462
- Morrison, H., Milbrandt, J.A., Bryan, G.H., Ikeda, K., Tessendorf, S.A., Thompson, G., 2015: Parameterization of Cloud Microphysics Based on the Prediction of Bulk Ice Particle Properties. Part II: Case Study Comparisons with Observations and Other Schemes. *J. Atmos. Sci.*, 72: 312–339. <https://doi.org/10.1175/JAS-D-14-0066.1>
- Nygaard, B.E.K., Ágústsson, H., Somfalvi-Tóth, K., 2013: Modeling Wet Snow Accretion on Power Lines: Improvements to Previous Methods Using 50 Years of Observations. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 52: 2189–2203. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-12-0332.1>
- Rasmussen, R.M., Vivekanandan, J., Cole, J., Myers, B., Masters, C., 1999: The Estimation of Snowfall Rate Using Visibility. *J. Appl. Meteor.*, 38: 1542–1563. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1999\)038<1542:TEOSRU>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1999)038<1542:TEOSRU>2.0.CO;2)
- R Development Core Team, 2008: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- Sakakibara, D., Nakamura, Y., Kawashima, K., Miura, S., 2007: Experimental result for snow accretion characteristics of communications cable. *Proc. Int. Wire and Cable Symp. (IWCS)*, Lake Buena Vista, FL, 581–586.

- Sakamoto, Y., Miura, A., 1993: Comparative study of wet snow models for estimating snow load on power lines based on general meteorological parameters. *Proc. 1993 IWALS*, 133–138.
- Somfalvi-Tóth, K., Simon, A., Kolláth, K., Dezső, Zs., 2015: Forecasting of wet- and blowing snow in Hungary. *Időjárás*, 119: 277–306.
- Sugimoto, S., Ishikawa, T., Matsumiya, H., Nishihara, T., 2016: Practical Methods for Estimating Snow Accretion of Overhead Power Lines and Its Impact on Tower Members. *Cigre-IEC Colloquium*, 2016. május 9–11. Montreal, Kanada.
- Thompson, G., Rasmussen, R.M., Manning, K., 2004: Explicit Forecasts of Winter Precipitation Using an Improved Bulk Microphysics Scheme. Part I: Description and Sensitivity Analysis. *Mon. Weather Rev.*, 132: 519–542. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2004\)132<0519:EFOWPU>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2004)132<0519:EFOWPU>2.0.CO;2)
- Thompson, G., Field, P.R., Rasmussen, R.M., Hall, W.D., 2008: Explicit Forecasts of Winter Precipitation Using an Improved Bulk Microphysics Scheme. Part II: Implementation of a New Snow Parameterization. *Mon. Weather Rev.*, 136: 5095–5115. <https://doi.org/10.1175/2008MWR2387.1>
- Wakahama, G., Kuroiwa, D., Goto, K., 1977: Snow Accretion on Electric Wires and its Prevention. *Journal of Glaciology*, 19(81): 479–487. <https://doi.org/10.3189/S0022143000215682>.
- Wakahama, G., 1979: Experimental studies of snow accretion on electric lines developed in a strong wind. *J. Nat. Disast. Sci.*, 1: 21–33.
-

ORCID

Somfalvi Tóth K.  <https://orcid.org/0000-0001-7404-6704>
Mészáros R.  <https://orcid.org/0000-0002-0550-9266>